7C

УДК УДК [007:572. 788]. 001.57.

А.В. Савельев
Уфимский государственный авиационный технический университет,
Башкирский государственный медицинский университет, г. Уфа, Россия
gmkristo@mail.ru

Нейрологические аспекты клеточной нейроматематики*

В статье рассмотрены нетрадиционные логические аспекты функционирования нейронов в нативном смысле. Это обеспечивается их более реалистичным моделированием по сравнению с общепринятыми представлениями, что обусловливается глубоким использованием нейрофизиологических данных концептуального и экспертного характера в модельных репрезентациях. Результаты моделирования воплощены в ряде патентов на изобретения. Вполне возможно, что, учитывая программы Г. Фреге и Б. Рассела о выразимости арифметики через логические исчисления, реализация указанной логики может позволить наделить вычислительные устройства повышенными интеллектуальными функциями, а также позволит создавать компьютеры, основанные на новых логических принципах.

Введение

Нейрокомпьютерные технологии на сегодняшний день ассоциируются обычно с Fuzzy-логикой, являющейся модификацией классической логики с использованием теории размытых множеств, разработанной Л. Заде. Однако следует заметить, что введение вероятностных параметров размытых множеств означает признание неизвестным скрытых закономерностей формирования размытости, то есть недостаточность детализации. Это вполне соответствует грубому представлению нейрона как элемента 40 – 50 гг. Мак-Каллока – Питса. Однако, на наш взгляд, к настоящему моменту нейробиологией накоплено большое количество знаний, позволяющих выйти за пределы формального элемента Мак-Каллока – Питса и, соответственно, примитивности логики, воспринимаемой на сегодняшний день как нейронной. Чтобы осуществить это, требуется значительно более глубокое моделирование нейрона, в том числе как логического элемента, некоторые результаты которого приводятся в настоящей статье.

Реверберационная логика

Циклические или реверберационные процессы возбуждения и торможения достаточно распространены в нервной системе [1]. Такие состояния являются физиологической нормой и, более того, прямо связаны с механизмами функционирования мозга. В противоположность этому, в цифровых компьютерах и их программировании состояния устойчивых реверберирующих циклов считаются артефактами, а потому в существующих видах логик они определяются как коллизии и исключаются из рассмотрения. Вместе с тем, анализ таких состояний является важным при рассмотрении работы нейронов мозга различных типов и образованных из них нейросетей, сама морфологическая и функциональная структура которых, как выяснилось [2], пред-

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 04-06-80460) и РГНФ (грант № 04-03-00066а).

расположена к этому. С целью этого нами введена допустимость коллизии цикла, не являющейся коллизией в данной системе, например, $A \to \overline{A} \bigcap \overline{A} \to A$ (названная нами **С-логика** [3]). Тогда в диаграмме Хассе $S^{Н}$ реверберационной QC-структуры S $\forall L$ литерала нарушаются условия симметричности:

1. $Pred(L) \neq Inv(Post(\overline{L})) \bigcup Pred(L) = Inv(Post(\overline{L}))$;

$Post(L) \neq Inv(Pred(\overline{L})) \bigcup Post(L) = Inv(Pred(\overline{L}))$,

где: $Pred\,(L)$ – множество предшественников $L, \forall X \in Pred\,(L)$, если и только связь $X \to L$ содержится в $S^{СТ}$;

$Post\,(L)$ – множество потомков $L, \forall X \in Post\,(L)$, если и только связь $X \to L$ содержится в $S^{СТ}$;

$Inv\,(Inv\,(P)) = P$ – инверсия для множества литералов $L_i \in P$, при которой каждому L_i ставится в соответствие $\overline{L}_i \in Inv(P)$;

2. $Inv(L^{\nabla}) = (\overline{L})^{\Delta} \bigcup Inv(L^{\nabla}) \neq (\overline{L})^{\Delta}$.

3. $L^{\nabla} \bigcap Inv\,(Post\,(L)) = \varnothing \bigcup L^{\nabla} \bigcap Inv\,(Post\,(L)) \neq \varnothing$;

$L^{\Delta} \bigcap Inv\,(Pred\,(L)) = \varnothing \bigcup L^{\Delta} \bigcap Inv\,(Pred\,(L)) \neq \varnothing$.

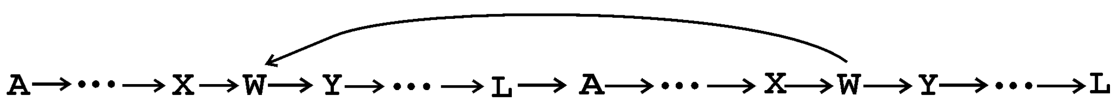
4. $L^{\nabla} \bigcap Post(L) = \varnothing \bigcup L^{\nabla} \bigcap Post\,(L) \neq \varnothing$;

$L^{\Delta} \bigcap Pred(L) = \varnothing \bigcup L^{\Delta} \bigcap Pred\,(L) \neq \varnothing$;

где: L^{∇} – главный идеал L в структуре S (множество $\{L\} \bigcup Pred\,(L)$);

L^{∇} – главный фильтр L в структуре S (множество $\{L\} \bigcup Post\,(L)$).

Нарушение этих равенств означает существование цикла в QC-структуре S. Например, если не соблюдается равенство $L^{\nabla} \bigcap Post(L) \neq \varnothing$, значит, среди цепей, входящих в L, существует по крайней мере одна полуцепь с литералом W (возможно равенство W = L) $L \to \ldots \to Z \to W \to V \to \ldots \to B$ таким, что среди цепей, исходящих из L, имеется полуцепь с тем же самым литералом $A \to \ldots \to X \to W \to Y \to \ldots \to L$. Поскольку L является соединительным звеном таких полуцепей, то в объединенной цепи в этом случае появляется цикл:



Физически устойчивые реверберирующие циклы могут образовываться при антидромном распространении спайков в случае отражения их от внутренних неоднородностей аксонов, в том числе перехватов Ранвье. В этом случае возникает циклическая логическая структура согласно а. с. №№ 1642485 [4], 1425731 [5].

Эти механизмы могут также реализовывать локальные аксонные или дендритные процессоры [6], не содержащие каких-либо трансцендентных операций, в том числе умножения, но, тем не менее, позволяющие воспроизводить в вычислительных отношениях полный набор также и неэлементарных функций и операций (интер- и экстраполирование, аппроксимация функций, разложение в ряды в различных базисах и т.д.), например, рис. 1. Схемы, построенные нами на основе коллизионной нейрологики циклов, являются универсальными не только для клеточного уровня, но также и для некоторых структурных образований нервной системы на макроуровне в межнейронном и даже органном масштабе и масштабе функциональ-

ных систем организма [7]. Таким образом, подобные структуры могут воспроизводить соединение и функционирование нейросетей, а также нейронных ансамблей. В дальнейшем было подтверждено в ряде работ, например в [8], что в вычислительном отношении они обладают совершенно уникальными свойствами в реальном масштабе времени. Реверберационные структуры могут включать в свои контуры также внешние по отношению к ним цепи нейронов, соединенных в нейросеть.

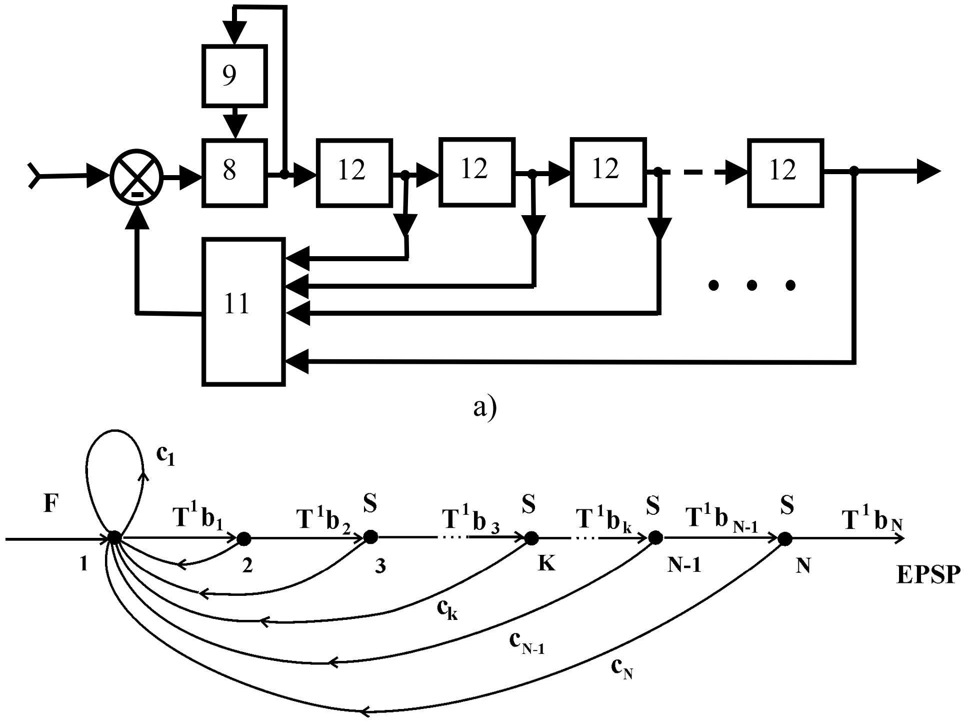


Рисунок 1 – а) – Нейрологический процессор по а. с. № 1425731 [5] для линейного режима; б) – его эквивалентное цифровое представление разностной схемой, где: T^1b_i – оператор обобщённого сдвига Дельсарта, соответствующий блоку 12. Механизмы антидромного распространения аксонных спайков позволяют реализовать универсальную вычислительную структуру на фундаментальных арифметических операциях без умножения и трансцендентных операций: 7, 11 – сумматоры; 8 – элемент сравнения (вычитатель); 9 – блок задания порога; 12 – элементы задержки. Блоки 11, 12 образуют пирамидальную структуру с обратной связью

Коллизионно-эфаптическая логика

Эфаптические (посредством электромагнитного поля – ЭМП) взаимодействия являются практически неотъемлемой частью межнейронного взаимодействия [9]. Это непосредственно может вытекать как из физических представлений о природе ЭМП, учитывая сильный электрический характер мультинейронной экстра- и интранейронной активности, так и из многочисленных результатов нейрофизиологических экспериментов [10], [11] и результатов моделирования [6]. Однако необходимо отметить, что эфаптические эффекты в мультинейронной активности рассматриваются в основном

либо во влиянии внешних полей [11], либо в виде междендритных взаимодействий [12]. В то же время наиболее мощным электрическим явлением в функционировании нейрона является аксонный спайк, имеющий к тому же, в силу своей резко выраженной импульсной формы, богатое содержание достаточно высокоамплитудных гармонических составляющих. Кроме того, учитывая плотную упаковку некоторых аксонных волокон в нервных пучках (рис. 2) или синцитиях [13], можно предположить достаточно сильные взаимовлияния ЭМП, порождаемых распространяющимися вдоль них спайками.

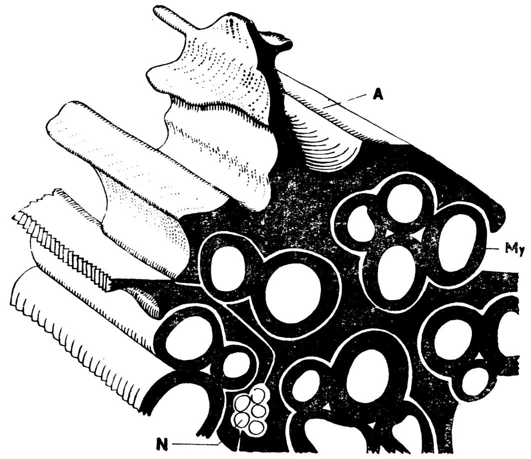


Рисунок 2 – Сегмент нервного пучка с астроцитарной оболочкой (А) вокруг группы миелинизированных (My) и безмякотных (N) нейритов (Němeček S.)

Нами было осуществлено логико-математическое моделирование механизмов самообработки информации спайковыми потоками на аксонном уровне при объединении миелинизированных аксонов в нервный пучок. В устройстве по а. с. 1439632 (рис. 3) [14] реализована нейристорная сеть, моделирующая нервный пучок. Дополнительная логика задается взаимной топологией отдельных аксонов в нервном пучке, которая определяет характер и степень влияния их друг на друга в момент прохождения спайков.

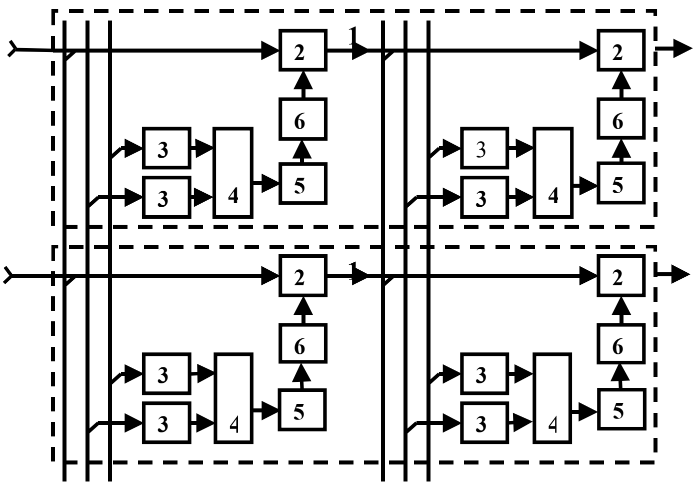


Рисунок 3 – Нейристорный процессор нервного пучка волокон по а. с. 1439632 [14]:
1 – нейристоры, 2 – нейристорные ячейки, 3 – масштабирующие блоки, 5 – блоки дифференцирования, 6 – элементы задержки. Показан фрагмент сети размерностью 2 × 2

Это влияние может выражаться в динамическом синхронном понижении или повышении порогов соответствующих (соответственно расположению волокон и рисунку их активации) отдельных нейристорных ячеек нейронной сети пучка. При этом поле, связывая отдельные волокна, и образует эту аксонную нейронную сеть, причем связи носят логический характер, реализуя собой динамическую синхронную непрерывнозначную логику.

Такая логика взаимной работы волокна нервного пучка отличается от традиционной логики допустимостью коллизий парадокса ($(A \to \overline{A} \cup \overline{A} \to A)$), которые в данном случае для такой логики коллизиями не являются (**Р-логика** [15]). Более слабые ограничения для этого выявляются в следующих соотношениях:

1. Если в корректной структуре S $\exists$ литерал L, $\forall L^{\nabla} \cap Inv(Post(L)) = M$, где: $M \neq \emptyset$, $\Rightarrow \forall A \in M$ соотношение $A \to \overline{A}$ является допустимой коллизией парадокса в S (Р-коллизией), где: $Inv(Inv(P)) = P$ – инверсия для множества литералов $L_i \in P$, при которой каждому L_i ставится в соответствие $\overline{L_i} \in Inv(P)$; L^{∇} – главный идеал L в структуре S (множество $\{L\} \cup Pred(L)$);

2. Если в корректной структуре S $\exists$ литерал L, $\forall L^{\Delta} \cap Inv(Pred(L)) = M$, где: $M \neq \emptyset$, $\Rightarrow \forall A \in M$ соотношение $\overline{A} \to A$ является Р-коллизией, где: L^{Δ} – главный фильтр L в структуре S (множество $\{L\} \cup Post(L)$).

3. Если в корректной структуре S: $\{(L \to \overline{L}) \cap (Pred\ (L)) \neq 0\} \in S \Rightarrow \forall L^b$ Р-коллизия: $L^b \to \overline{L^b}$ допустима в S, где: $L^b \in Pred(L)$ – базовый литерал.

Для структур более общего вида возможны случаи, когда из отношения $A_i \to \overline{A_i}$ необязательно следует, что $A_i = 0 \cap \overline{A_i} = 1$.

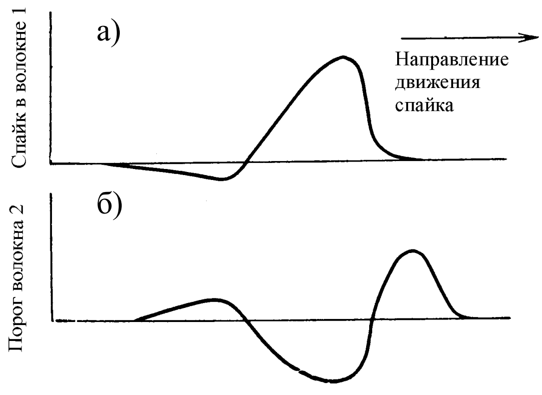


Рисунок 4 – Качественные экспериментальные кривые [8]:
а) – импульс, бегущий по активированному волокну;
б) – волна изменения возбуждения, бегущая по неактивированному волокну

Волны распространения возбуждения в такой нейронной сети имеют вместе с обычно рассматриваемым конвергентным характером (сходящимся к одной точке) также и дивергентный характер (расходящийся из одной точки). При этом такое симметричное и одновременное сосуществование вместе конвергентных и дивергентных тенденций возбуждения объясняется их качественной асимметрией [16]. Эта асимметрия проявляется в различиях представительства конвергенции, проявляющейся в сумми-

ровании возбуждений от множества источников в виде ВПСП или спайков и дивергенции, представляющей собой расходящиеся волны изменения порогов возбуждения. Таким образом, информация может передаваться не только в виде прямого возбуждения, переносимого нервными импульсами, но также в виде градуальных пространственно-волновых изменений порогов волокон, распространяемых по нервному пучку в продольном и поперечном направлениях по его объему. Возникновение и проведение спайков в этом случае может служить механизмом детектирования текущих величин порогов, выполняя роль обращенной (инверсионной) логики [15]. Показано, что взаимные воздействия на величины порогов факторами (ЭМП спайков), являющимися порождениями самих именно этих величин порогов, способствуют возникновению устойчиво циркулирующих неравновесных «пороговых волн», образующих устойчивые очаги пониженных пороговых состояний мембран некоторых аксонов в нервном пучке (рис. 4). Это может обусловливать самоорганизацию и самоподдерживаемость определенного тонического состояния нервной активности автономно на уровне самого нервного пучка.

Экстраординарная нейронная логика

Количественные показатели пачечности могут также служить логическими состояниями нейрона, причем с градацией, превышающей обычную двузначную логику и могут реализовывать многозначную, бесконечнозначную, непрерывную логику, логику «неисключенного четвертого» и т.д. Такое управление характером логических свойств нейрона может осуществляться, например, модуляцией со стороны лиановидного волокна, конвергирующего с нейроном Пуркинье мозжечка, контактирующего с его дендритами на большей части их протяжения и многократно повторяющего их дихотомические ветвления (рис. 5, 6).

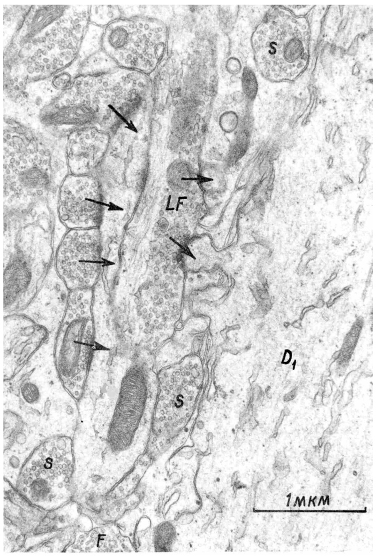


Рисунок 5 – Взаимосвязь между лиановидным волокном (LF) и дендритом (D) клетки Пуркинье (фото Uchizono K)

На протяжении всего контакта с дендритом лиановидное волокно (ЛВ) образует последовательный ряд преимущественно возбуждающих синапсов. Раздражение ЛВ вызывает колебательные деполяризационные потенциалы в клетках Пуркинье [17], что может приводить к расщеплению выходного импульсного потока на пачки. Парамет-

ры колебательных деполяризационных потенциалов, управляющих логическими свойствами нейрона Пуркинье, зависят не только от приходящих возбуждающих стимулов по лиановидному волокну, но в большей мере – от состояния возбуждения или торможения самих нейронов Пуркинье, величины результирующей деполяризации или гиперполяризации, а также от положения ЛВ на дендритах нейрона Пуркинье. В данном случае лиановидное волокно является не только простым входом, но соответствующим сопроцессором [17] для самого нейрона Пуркинье ввиду сложного характера контактирования с ним. Таким образом, топология такого контакта определяет функциональные особенности комплекса и, соответственно, сети клеток Пуркинье (рис. 6).

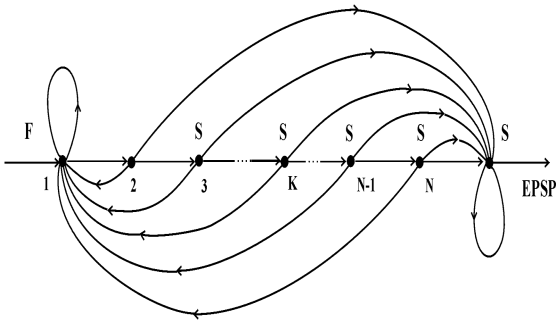


Рисунок 6 – Граф, соответствующий логической структуре контакта клетки Пуркинье с LF, изображенной на рис. 5. Учитывается, что LF образует с клеткой Пуркинье последовательную серию возбуждающих синапсов, количество тормозящих синапсов значительно меньше, причем, в отличие от возбуждающих, они могут образовывать реципрокные связи; EPSP – вызванные постсинаптические потенциалы

Можно заметить также фрактальное подобие графа соединения клетки Пуркинье и лиановидного волокна в части обратных связей с логикой соединения участка нейросети мотонейронов с клетками Реншоу ([18], рис. 7). Этот факт может свидетельствовать о структурном иерархическом представительстве низших двигательных механизмов в высших центрально-мозговых механизмах. Возможно, что рассмотрение такой логической организации этих мозговых структур сможет помочь решению проблемы о связи мысли и движения.

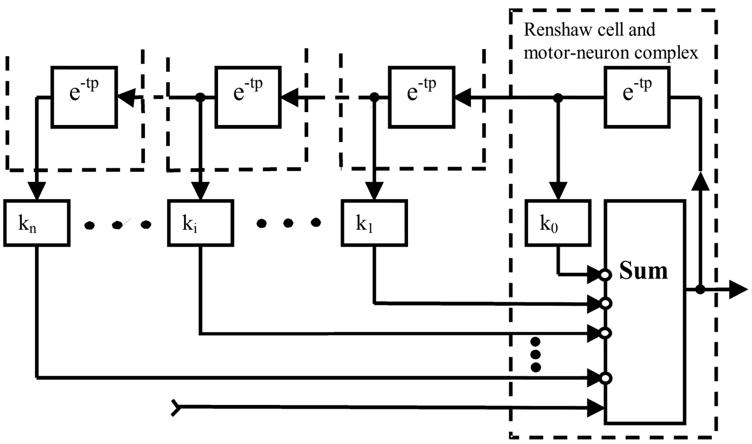


Рисунок 7 – Нейросетевой процессор сегмента нейросети клеток Реншоу и мотонейронов (а. с. № 1292494 [18]). $e^{-\tau p}$ – элементы задержки, k_i – масштабные коэффициенты, Σ – аддитивный сумматор

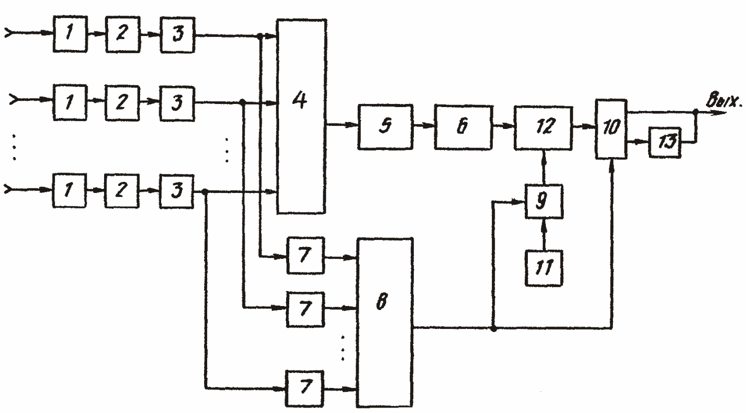


Рисунок 8 – Нейропроцессор по а. с. № 1324044 [20] содержит формирователи 1 сигналов, преобразователи 2 частоты в амплитуду, блоки 3 задания весовых коэффициентов, сумматор 4, функциональный преобразователь 5, преобразователь 6 амплитуды в частоту, компараторы 7 по числу входов устройства, логический блок 8, одно- и двуполярные ключи 9 и 10, времязадающую цепь 11, формирователь 12 спайков и аттенюатор 13

Нейрокомпьютерные модели как постулат принимают неизменность и стандартизируемость основной информационной единицы аксональной нейропередачи информации посредством спайка. Как правило, предполагается его прямоугольность с постоянными параметрами, что априорно обусловливает информационное содержание лишь в частоте последовательности стандартизируемых таким образом импульсов. В лучшем случае может встречаться описание спайков в виде абстрактных δ-функций [19]. В то же время в реальной нервной ткани наблюдаются значительные вариации формы спайков как у нейронов различных типов, так и у одних и тех же нейронов в зависимости от текущего функционального состояния и условий возбуждения со стороны окружающих нейронов [20]. Например, в мотонейронах (рис. 8) довольно часто можно встретить генерацию спайков различной природы – Na^+ или Ca^{2+}. При этом реакции на такие спайки различающейся формы у приводимого мышечного элемента концевой пластинки будут различными: Na^+-спайки более остроконечные, приближающиеся к δ-функции, вызывают быстрые фазические сокращения, а Ca^{2+}-спайки, более уплощённые и размытые во времени, вызывают медленные тонические движения эффекторов. Всё это может обусловливать многозначность нейронных логических свойств. В этом случае при генерации последовательности спайков, изменении их формы и соответствующей её обработки химическими синапсами с реальными динамическими свойствами экзоцитоза, может проявляться эффект «изменения скважности», что влечёт за собой изменение уровня ВПСП постсинаптических нейронов. Соответственно, при скачкообразном переключении формы спайка (с Na^+ на Ca^{2+}) скачкообразно же меняется скважность и скачкообразно изменяются ВПСП, что является информационно значимым для текущего состояния постсинаптического нейрона.

Свойства нейрона как логического элемента, самоорганизующего свою логику, чрезвычайно многообразны [2]. Логические свойства нейрона могут проявляться в избирательном реагировании его, как, например, в конвергентных нейронах спинальных ганглиев, на активизацию синапсов, связанных с низкопороговыми или высокопороговыми рецепторами, спайковыми ответами обычной или увеличенной длительности [21].

Таким образом, это расширяет традиционные представления о нейроне как элементарной «on-off»-ячейке, поскольку аналогично реальному нейрону вводится логическая модальность по вариациям длительности самих спайков. При этом реализуется пороговая

логика с динамически изменяемым порогом, текущая величина которого определяется мгновенным состоянием конкуренции между количеством активированных синапсов, связанных с высокопороговыми или низкопороговыми рецепторами.

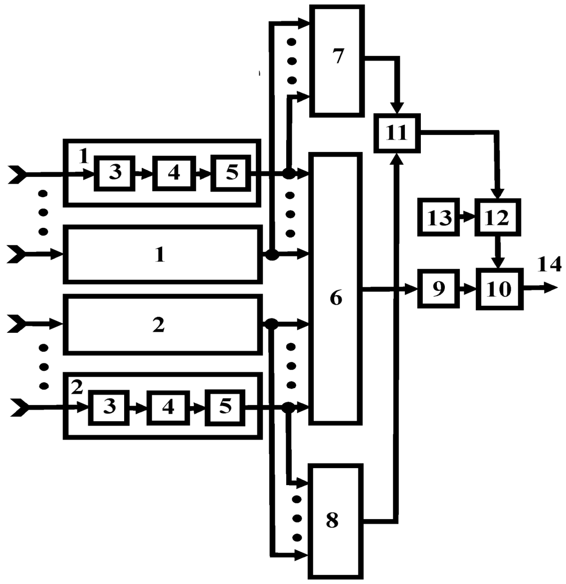


Рисунок 9 – Логический нейроподобный элемент, реализующий синергетические взаимодействия между низкопороговыми и высокопороговыми рецепторами (а.с. № 1645975[21]). 1, 2 – блоки моделирования низкопороговых и высокопороговых рецепторов, 3 – формирователи, 4 – преобразователи частоты в напряжение, 5 – блоки задания коэффициентов, 6-8 – сумматоры, 9 – функциональный преобразователь, 10 – преобразователь напряжения в частоту, 11 – компаратор, 12 – ключ, 13 – времязадающая цепь, 14 – аксонный выход

Функционирование такого логического нейроподобного элемента (рис. 9) в составе нейросети дает возможность воспроизводить генетические самоорганизующиеся алгоритмы переключения его логики. Логические свойства нейрона могут проявляться также в мотонейронах, реагирующих быстрыми Na^{+}-спайками, соответствующими быстрым движениям эффекторов, или медленными Ca^{2+}-спайками, обеспечивающими медленные движения эффекторов. В этом случае дополнительными логическими свойствами могут быть наделены не только длительность и амплитуда спайков, но также продолжительность и глубина следовой зоны гиперполяризации, соответствующей рефрактерному периоду, что и определяет, собственно, «быстроту» спайков. Устройство является также логическим анализатором количества активированных синапсов, изменяя нейронную логику при активации в сети нейрона-пейсмекера, что наблюдается обычно при медленных движениях эффектора. Бинарная логика этого устройства служит для управления тринарной логикой по аксонному выходу мотонейрона. При использовании устройств (алгоритмов) по [20], [21] повышается точность моделирования реальных мотонейронов за счет воспроизведения тонких нейрофизиологических механизмов зависимости спайковой активности от стимуляции синаптических входов, расширяются функциональные возможности за счет управления эффекторами в различных режимах воспроизведения реакции убегания и тонической активности, повышается гибкость управления эффекторами благодаря введению дополнительных элементов, моделирующих генерацию спайков различной природы в одном аксоне. Логика работы в этом случае реализуется переключением различных динамических характеристик активного проведения по аксону и может осуществлять распознавание активизации нейронов-

пейсмекеров в эффекторной сети мотонейронов. В связи с этим устройства могут быть использованы в миостимуляторах, в том числе в кардиостимуляторах, обеспечивая логическое саморегулирование без физической обратной связи и системы датчиков. И в том, и в другом случаях нейрон обнаруживает более богатую логику, кроме традиционно учитывающейся тривиально пороговой, а следовательно, обладает более богатой и гибкой функциональностью, что позволяет значительно сокращать размерность нейросети, требуемой для решения поставленных задач.

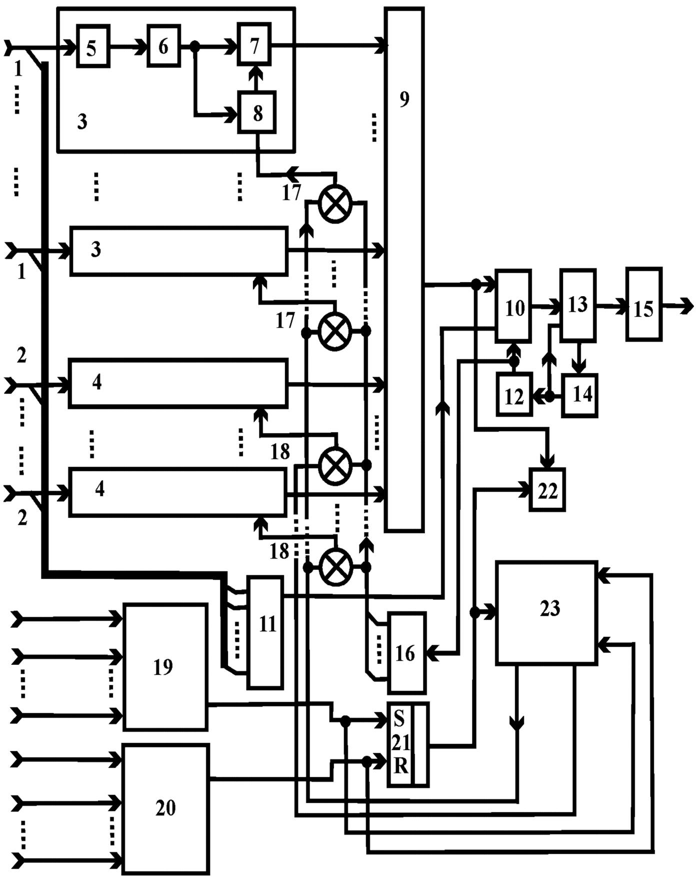


Рисунок 10 – Нейросетевой процессор эмоций [22] содержит возбуждающие 1 и тормозящие 2 входы блоков моделирования возбуждающих 3 и тормозящих 4 синапсов, элементы 5 задержки, буферные каскады 6 и управляемые коэффициенты 7, накопители 8, сумматоры 9, 17 и 18, элемент 10 сравнения, блок 11 формирования порога, интеграторы 12 и 14, преобразователь 13 амплитуды в частоту, формирователь 15 импульсов, блок 16 управления синапсами, блоки моделирования тормозящих 19 и возбуждающих 20 рецепторов моноаминов, триггер 21, нелинейный элемент 22 и блок моделирования диффузионных процессов 23

Логические свойства нейрона проявляются также в эмоциональных реакциях на клеточном уровне, например, в нейронах неокортекса при действии на их рецепторы диффузионных процессов распространения моноаминов, выделяемых нейронами эмоциональных центров. В устройстве – процессоре эмоций (рис. 10 [22]), как и комплексе мотонейрон – клетка Реншоу [18], может происходить дискретная или непрерывная трансформация обратной связи с положительной на отрицательную, и наоборот. Эта трансформация связана как со свойствами и соотношениями поступающих на нейрон внешних спайков, так и с внутренним мгновенным состоянием самого нейрона, зависящим, в том числе, от событийной предыстории. При этом процессор эмоций по [22]

реализует реальные алгоритмы динамики изменения состояний популяции нейронов (нейросети) при действии на нее моноаминов (или NO!), выделяемых как при отрицательных, так и при положительных эмоциях. Кроме того, здесь можно выделить особый тип логики – логику с учетом предыстории. Это позволяет реализовать подходы к воспроизведению самоорганизующихся бионических механизмов принятия решений, возможно являющихся составными частями акцептора результатов действия [7], или же организовать экстраполяцию элементов последующего поведенческого акта в виде установки по Д.Н. Узнадзе [23].

Попытки создания процессора эмоций предпринимались до сих пор лишь на психологическом уровне без учета действия реальных физиологических и биохимических механизмов. Данное устройство впервые использует зависимость вычислений от моделирования химизма эмоциональных реакций на клеточном уровне.

Заключение

XIX – XX века открыли путь логики, являющейся до этих пор преимущественно лишь уделом философов и схоластов, в математику. Б. Рассел поистине пророчески писал: «Тот факт, что вся математика есть не что иное как символическая логика – величайшее открытие нашего века» [24]. Это имело грандиозные последствия. Именно логическому обоснованию математики и выразимости математических операций и объектов средствами логики мы обязаны возникновению и развитию компьютерной техники и автоматизации вычислений вообще. Однако логики, лежащие в основе современной математики, весьма примитивны даже в смысле моделирования естественных рассуждений. Этот факт неизбежно присутствует во всей математике, что ограничивает ее применимость, в том числе, к воспроизведению свойств природных объектов, в том числе биологических. Как показывают наши исследования [2 и др.], логика биологических объектов является логикой «третьего уровня», поскольку представляет собой иной, более сложный уровень по сравнению с логикой социальных взаимодействий. Эту логику можно назвать логикой «второго уровня», однако даже ни она, ни ее элементы не используются в существующих системах математической логики, несмотря на явно выраженную потребность в развитии технических устройств от индивидуальных к социальным. Логики, представляющие на сегодняшний день фундамент современной математики, по нашей классификации можно считать логиками «первого уровня» или же определить их как «индивидуальные» логики. Таким образом, исследование биологических объектов на предмет их логической организации может дать прогресс не только в области их моделирования, но и для реконструкции самого математического аппарата.

Учитывая программы Г. Фреге и Б. Рассела о выразимости арифметики через логические исчисления, реализация указанной логики может позволить наделить вычислительные устройства повышенными интеллектуальными функциями, а также позволит создавать компьютеры, основанные на новых логических принципах [22].

Литература

1. Masako S., Chiaki T. Characterization and Construction of Reverberating Networks // Mathematical Biosciences. – 1982. – V. 62. – P. 201-217.
2. Savelyev A.V. Neuronic Logic // CSIT'2003. – 2003. – Vol. 3. – P. 57-64.
3. Савельев А.В. Коллизионная нейрологика циклов // Материалы III Всесибирского конгресса женщин-математиков. – Красноярск: КГТУ, 2003. – С. 105-107.
4. Устройство для моделирования нейрона / А.Г. Жуков, А.А. Колесников, Н.А. Савельева, А.В. Савельев: А.с. № 1642485, БИ № 14, 1991.

5. Устройство для моделирования нейрона / А.А. Колесников, А.Г. Жуков, Н.А. Савельева, А.В. Савельев: А с. № 1425731, БИ № 35, 1988.
6. Савельев А. В. Нейрокомпьютеры в изобретениях // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – М.: ИПРЖР. – 2004. – № 2-3. – С. 33-49.
7. Савельев А.В. Онтологическое расширение теории функциональных систем // Журнал проблем эволюции открытых систем. – Казахстан, Алматы. – 2005. – № 2(8). – С. 101-110.
8. Бакусов Л.М., Ильясов Б.Г., Сафин Ш.М. Компартментные модели прогностических функций мозжечковой системы // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. – 2003. – № 4. – С. 113-118.
9. Сапрыкина Т.А., Колесников А.А., Савельев А.В. Где заканчивается головной мозг или о функции дендритных деревьев // Проблемы нейрокибернетики. – Ростов-на-Дону: РГУ. – 1995. – С. 210-211.
10. Бакуменко Л.П., Воробьева Т.М., Лещенко А.Г., Сулима Т.М. Управление функциями через биоинформационные программы, передаваемые от мозга одного животного к нервным структурам другого // Проблемы нейрокибернетики. – Ростов-на-Дону: РГУ. – 1983. – С. 73.
11. Чиженкова Р.А. Уровень активности в нейронных сетях коры больших полушарий при СВЧ облучении // Моделирование неравновесных систем. – Красноярск: КГТУ. – 2003. – С. 186-187.
12. Гутман А.М. Дендриты нервных клеток. Теория, электрофизиология, функции. – Вильнюс: Мокслас. – 1984.
13. Hodgkin A.L. The conduction of the nervous impulse. – Liverpool University Press. – 1964.
14. Устройство для моделирования нервного пучка / Т.А. Межецкая, А.В. Савельев, А.А. Колесников: А. с. № 1439632, БИ № 43, 1988.
15. Савельев А.В. Коллизионная нейрологика парадоксов // В сб. материалов III Всесибирского конгресса женщин-математиков. – Красноярск: КГТУ. – 2003. – С. 107-109.
16. Савельев А.В. Реализм теории модульной самоорганизации мозжечка // Журнал проблем эволюции открытых систем. – Казахстан: Алматы. – 2007. – № 1 (9). – С. 93-101.
17. Устройство для моделирования нейрона Пуркинье / Т.А. Межецкая, Н.А. Савельева, А.В. Савельев, А.А. Колесников: А. с. № 1497626, БИ № 18, 1989.
18. Устройство для моделирования нейрона / А.В. Савельев: А. с. № 1292494, 1987.
19. Ikeda K. A synfire chain in layered coincidence detectors with random synaptic delays // Neural Networks. – 2003. – № 16.
20. Устройство для моделирования мотонейрона / Н.А. Савельева, А.В. Савельев: А. с. № 1324044, БИ № 26, 1987.
21. Логический нейроподобный элемент / Б.Г. Ильясов, А.В. Савельев, А.А. Колесников: А. с. № 1645975, БИ № 16, 1991.
22. Устройство для моделирования нейрона неокортекса / А.Г. Жуков, А.А. Колесников, Н.А. Савельева, А.В. Савельев: А. с. № 1464181, БИ № 9, 1989.
23. Узнадзе Д.Н. Психологические исследования. – М., 1966.
24. Russell B. The Principles of Mathematics. – George Allen & Unwin, London. – 1903.

О.В. Савельєв

Нейрологічні аспекти клітинної нейроматематики

У статті розглянуті нетрадиційні логічні аспекти функціонування нейронів в нативному розумінні. Це забезпечується їх більш реалістичним моделюванням порівняно із загальновизнаними уявленнями, що обумовлюється глибоким використанням нейрофізіологічних даних концептуального і експертного характеру в модельних репрезентаціях. Результати моделювання втілено у ряді патентів на винаходи. Цілком можливо, що, враховуючи програми Р. Фреге і Б. Рассела про виразність арифметики через логічні обчислення, реалізація вказаної логіки може дозволити наділити обчислювальні пристрої підвищеними інтелектуальними функціями, а також дозволить створювати комп'ютери, засновані на нових логічних принципах.

A.V. Savelyev

Neurological Aspects of Cellular Neural Mathematics

In the article nonconventional logic aspects of functioning neurons in natural sense are considered. It is provided with their more realistic modeling in comparison with the standard representations that is caused by deep use neurophysiological data of conceptual and expert character in modeling representations. Results of simulation were embodied in a number of the patents. Quite probably that considering programs G. Frege and B. Russell about expressibility arithmetic through logic calculations, realization of the specified logic presumes to allocate computers with the increased intellectual functions, and also will allow to create the computers based on new logic principles.

Статья поступила в редакцию 24.06.2008.